

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Alen Horina**

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **KAMIN NA DRVA ZA ZAGRIJAVANJE PROSTORA I PRIPREMU TOPLE VODE ZA CENTRALNO GRIJANJE**

Mentori:

Prof. dr. sc. Srećko Švaić, dipl. ing.

Student:

Alen Horina

Zagreb, 2012.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Srećku Švaić na slobodi odabira teme za ovaj rad te prihvatanja mentorstva, potpori i savjetima.

Zahvaljujem i svojoj obitelji koja mi je velika podrška prilikom studiranja.

Alen Horina



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **ALEN HORINA**

Mat. br.: 0035167758

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**KAMIN NA DRVA ZA ZAGRIJAVANJE PROSTORA I PRIPREMU  
TOPLE VODE ZA CENTRALNO GRIJANJE**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**FREESTANDING RESIDENTIAL ROOMHEATER FIRED BY  
WOOD WITH A BOILER FOR CENTRAL HEATING**

Opis zadatka:

Potrebno je konstruirati kamin za zagrijavanje prostora i pripremu tople vode za centralno grijanje ukupne snage 12 kW od čega za zagrijavanje prostora u kojem se kamin nalazi treba osigurati 5 kW. Kamin mora zadovoljiti zahtjeve norme HRN EN 13240 u pogledu konstrukcije i kvalitete izgaranja. Ložište treba biti predviđeno za izgaranje cjepanica dužine do 330 mm i sadržaja vlage u drvetu do 25%. Kamin je samostojeći, čelični u zavarenoj izvedbi.

Rad mora sadržavati:

Proračun kamina

Sklopni crtež s detaljima i prikazom zavora

Radioničke crteže glavnih dijelova

U radu navesti korištenu literaturu i eventualnu pomoć.

Zadatak zadan:

30. travnja 2012.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Srećko Švaić

Rok predaje rada:

**2. rok:** 6. srpnja 2012.

**3. rok:** 14. rujna 2012.

Predviđeni datumi obrane:

**2. rok:** 9., 10. i 11. srpnja 2012.

**3. rok:** 19., 20. i 21. rujna 2012.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA .....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK .....	X
1. UVOD .....	1
1.1. Norma EN 13240 .....	1
1.1.1. Dokumentacija za proizvodnju .....	1
1.1.2. Zahtjevi konstrukcije .....	1
1.1.3. Sigurnosni zahtjevi .....	3
1.1.4. Radni zahtjevi .....	3
1.1.5. Upute uređaja .....	5
1.1.6. Ispitivanje .....	5
1.1.6.1. Test performansi pri nominalnom toplinskom učinku .....	5
1.1.6.2. Test sporog izgaranja, izgaranja s manjom količinom goriva i oporavka .....	5
1.1.6.3. Sigurnosni test .....	5
1.1.6.4. Rezultati ispitivanja .....	6
2. TOPLINSKI PRORAČUN .....	7
2.1. Proračun izgaranja .....	7
2.1.1. Zadani parametri .....	7
2.1.2. Toplinska vrijednost i sastav goriva prema .....	7
2.1.3. Toplinska vrijednost i sastav goriva prema .....	7
2.1.4. Teoretska količina kisika i zraka potrebna za izgaranje .....	8
2.1.5. Stvarna količina zraka potrebnog za izgaranje .....	8
2.1.6. Količina i sastav dimnih plinova koji nastaju izgaranjem .....	9
2.1.7. Sadržaj topline dimnih plinova .....	11
3. PARAMETRI LOŽIŠTA .....	12
3.1. Ulazni podaci .....	12
3.2. Volumen ložišta .....	12
3.3. Teoretska temperatura izgaranja .....	13
3.4. Temperatura dimnih plinova na izlazu iz kamina .....	15
3.5. Stvarna temperatura izgaranja .....	15
3.6. Toplina odana u izmjenjivaču .....	17
3.7. Ukupna toplina koja se predaje izmjenjivaču .....	17
3.8. Toplina koja se predaje s vanjske stijenke kamina .....	18
3.9. Ukupna dobivena toplina .....	19
3.10. Proračun rešetke .....	19
3.11. Proračun pepeljare .....	20
4. ZAKLJUČAK .....	22

---

PRILOZI .....	23
LITERATURA.....	24

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Unutarnji pogled kamina .....	13
Slika 2.	Izmjenjivač.....	18

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Entalpija produkata izgaranja i entalpija dimnih plinova.....	11
Tablica 2. Pregled standardnih rešetki [6] .....	20



**POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

100-01	Prednja ploča vrata
100-02	Stražnja ploča vrata
100-03	Okvir stakla
100-04	Staklo
100-05	Vrata
100-06	Izmjenjivač topline
100-07	Kamin na drva za zagrijavanje prostora i pripremu tople vode za centralno grijanje

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$a$	kg/kg	maseni udio ugljika u sastavu drva
$a$	m	dubina ložišta
$a_{iz}$	-	udio površine izmjenjivača na koju dozračuje toplina u ukupnoj površini na koju dozračuje toplina
$A_{izm}$	m <sup>2</sup>	površina izmjenjivača
$a_p$	m	širina pepeljare
$a_r$	m	širina rešetke
$A_r$	m <sup>2</sup>	površina rešetke
$a_t$	kg/h	masa pepela koja nastane u jedinici vremena
$A_v$	m <sup>2</sup>	vanjska ukupna površina kamina
$A_{zr}$	m <sup>2</sup>	ukupna površina ložišta i izmjenjivača na koju dozračuje toplina
$b$	m	širina ložišta
$B$	kg/s	maseni protok goriva
$b_p$	m	dužina pepeljare
$b_r$	m	dužina rešetke
$B_\tau$	kg	masa goriva potrebna za traženi period gorenja $\tau$
$c$	kg/kg	maseni udio ugljika u sastavu drva
$\left[ c_{p\,dp} \right]_0^{\vartheta_{ad}}$		Srednji specifični toplinski kapacitet pri konstantnom tlaku nad temperaturnim intervalom od 0 do $\vartheta_{ad}$ °C
$h$	kg/kg	maseni udio vodika u sastavu drva
$h$	m	Visina ložišta
$h_{CO_2}, h_{H_2O}, h_{N_2}, h_{O_2}$	kJ/kg	specifična entalpija ugljikovog dioksida, vlage, dušika i kisika
$h_{dp}$	kJ/kg	specifična entalpija dimnih plinova
$h_G$	m	visina volumena goriva
$h_{min}$	m	minimalna potrebna visina

		ložišta
$h_p$	m	visina pepeljare
$h_u$	-	gubici u neizgorenom gorivu
$h_{\dot{z}}$	m	visina žara na rešetci od prethodnog punjenja
$\Delta h_d$	kJ/kg	donja ogrjevna vrijednost drva
$l_{\min}$	kg/kg	minimalna masa zraka potrebna za potpuno izgaranje
$l_{\text{stv}}$	kg/kg	stvarna masa zraka potrebna za potpuno izgaranje
$M_C, M_{\text{CO}_2}, M_{\text{H}_2}, M_{\text{H}_2\text{O}}, M_{\text{O}_2}, M_{\text{N}_2}$	kg/kmol	molarna masa ugljika, ugljikovog dioksida, vodika, vode, kisika i dušika
$m_{\text{CO}_2}, m_{\text{H}_2\text{O}}, m_{\text{N}_2}, m_{\text{O}_2}$	kg/kg	masa ugljikovog dioksida, vlage, dušika i kisika u dimnim plinovima
$m_{\text{dp}}$	kg/kg	masa vlažnih dimnih plinova
$m_{\text{sdp}}$	kg/kg	masa suhih dimnih plinova
$n_{\text{CO}_2}, n_{\text{H}_2\text{O}}, n_{\text{N}_2}, n_{\text{O}_2}$	kmol/kg	specifična količina ugljikovog dioksida, vlage, dušika i kisika
$n_{\text{dp}}$		specifična količina vlažnih dimnih plinova
$o$	kg/kg	maseni udio kisika u sastavu drva
$o_{\min}$	kg/kg	minimalna masa kisika potrebna za potpuno izgaranje
$p$	Pa	tlak
$Q$	J	toplina
$Q_{\text{dp}}$	J	toplina
$Q_{\text{izm}}$	kJ/kg	ukupna toplina koje je predana izmjenjivaču
$Q_{\text{izm}_{\text{zr}}}$	kJ/kg	toplina koja dozračuje na izmjenjivač
$Q_K$	kJ/kg	toplina koja se u izmjenjivaču preda konvekcijom
$Q_{\text{ok}}$	kJ/kg	toplina koja se predaje okolini
$Q_{\text{uk}}$	kJ/kg	ukupna dobivena tolina
$q_{v_{\text{dp}}}$	m <sup>3</sup> /kg	protočni volumen dimnih plinova
$q_{v_{\text{pepela}}}$	m <sup>3</sup> /h	volumen pepela koji nastaje

		u jedinici vremena
$Q_z$	dca	
$Q_{zr}$	dca	Toplina koja se odaje na stijenke ložišta i izmjenjivača
$R$	$\text{kJ}/(\text{kg K})$	Specifična plinska konstantna
$T$	K	temperatura
$t_1$	h	vrijeme trajanja loženja da nastali pepeo zauzima 3/4 volumena pepeljare
$V$	$\text{m}^3$	volumen ložišta
$v_{\text{CO}_2}, v_{\text{H}_2\text{O}}, v_{\text{N}_2}, v_{\text{O}_2}$	$\text{m}^3/\text{kg}$	specifični volumen ugljikovog dioksida, vlage, dušika i kisika
$v_{\text{dp}}$	$\text{m}^3/\text{kg}$	specifični volumen dimnih plinova
$V_p$	$\text{m}^3/\text{kg}$	Volumen pepeljare
$v_{\text{Tstv}}$	$\text{m}^3/\text{kg}$	specifični volumen dimnih plinova pri stvarnoj temperaturi izgaranja u ložištu
$V_{\text{Tstv}}$	$\text{m}^3/\text{kg}$	Volumen dimnih plinova po kilogramu goriva
$V_\tau$	$\text{m}^3$	Volumen gotiva za period gorenja
$w$	$\text{kg}/\text{kg}$	maseni udio vlage u sastavu drva
$y_{\text{CO}_2}, y_{\text{H}_2\text{O}}, y_{\text{N}_2}, y_{\text{O}_2}$	$\text{kmol}/\text{kmol}$	količinski udio ugljikovog dioksida, vlage, dušika i kisika u dimnim plinovima
$z_{\text{CO}_2}, z_{\text{H}_2\text{O}}, z_{\text{N}_2}, z_{\text{O}_2}$	$\text{kg}/\text{kg}$	maseni udio ugljikovog dioksida, vlage, dušika i kisika u dimnim plinovima
<b><u>Grčke oznake</u></b>		
$\alpha_{\text{izm}}$	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	koeficijent prijelaza topline kod izmjenjivača
$\alpha_{\text{vs}}$	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	sveukupni koeficijent prijelaza topline konvekcijom i zračenjem s vanjske stijenke kamina
$\varepsilon_1$	-	emisijski faktor goriva
$\varepsilon_2$	-	emisijski faktor ložišta
$\varepsilon_{\text{kamin}}$	-	emisijski faktor kamina

$\varepsilon_{\text{zid}}$	-	emisijski faktor zida
$\eta_{K_{\text{tr}}}$	-	traženi stupanj djelovanja kotla
$\eta_K$	-	odabrani stupanj djelovanja kotla
$\eta_L$	-	stupanj djelovanja ložišta
$\vartheta_{\text{dpi}}$	°C	temperatura dimnih plinova na izlazu
$\vartheta_{\text{stv}_p}$	°C	pretpostavljena stvarna temperatura izgaranja
$\vartheta_{\text{ad}}$	°C	adijabatska temperatura izgaranja
$\vartheta_{\text{ok}}$	°C	temperatura okolnog zraka
$\vartheta_{\text{st}}$	°C	temperatura stijenke ložišta
$\vartheta_{\text{stv}}$	°C	stvarna temperatura izgaranja
$\vartheta_{\text{vs}}$	°C	srednja temperatura vanjske stijenke kamina
$\vartheta_{\text{uz}}$	°C	temperatura vanjskog zraka
$\vartheta_{\text{zid}}$	°C	temperatura unutarnjih zidova
$\vartheta_{w_u}$	°C	ulazna temperatura vode
$\vartheta_{w_i}$	°C	izlazna temperatura vode
$\lambda$	mol/mol	faktor pretička zraka
$\rho_{\text{CO}_2}, \rho_{\text{H}_2\text{O}}, \rho_{\text{N}_2}, \rho_{\text{O}_2}$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća ugljikovog dioksida, vlage, dušika i kisika
$\rho_{\text{nas}}$	kg/m <sup>3</sup>	nasipna gustoća goriva u cjepanicama
$\rho_{\text{pepel}}$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća pepela
$\tau$	h	vrijeme gorenja
$\omega$	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	vidni faktor kod obuhvaćenog tijela

## **SAŽETAK**

Za potrebe „Završnog rada“ preddiplomskog dijela studija je konstruiran kamin za zagrijavanje prostora i pripremu tople vode za centralno grijanje ukupne snage 12 kW. Za zagrijavanje prostora u kojem se nalazi kamin treba osigurati 5 kW. Kamin u pogledu konstrukcije i kvalitete izgaranja zadovoljava zahtjeve norme HRN EN 13240. U radu su također sadržani proračun kamina, sklopni crtež s detaljima i prikazom zavarata te radioničke crteže glavnih dijelova.

## 1. UVOD

### 1.1. Norma EN 13240

#### 1.1.1. Dokumentacija za proizvodnju

Proizvođač mora navesti tip uređaja, koji predaje na ispitivanje i laboratorij će ispitati uređaj koristeći standard koji odgovara tom zahtjevu. Da bi identificirali uređaj, proizvođač mora imati na raspolaganju dokumentaciju i/ili nacrt sklopa u mjerilu koji prikazuje osnovni dizajn i izradu uređaja. Dokumentacija i/ili nacrt moraju sadržavati najmanje sljedeće podatke:

- specifikacija materijala koji se koristi u gradnji uređaja;
- nazivna toplinska snaga u kW prilikom korištenja goriva preporučena od strane proizvođača.

Ako je uređaj opremljena kotlom onda moraju biti navedeni sljedeći dodatni detalji:

- postupak zavarivanja koji se koristi pri izradi oplata kotla;
- najviša dopuštena radna temperatura vode u ° C;
- najveći dopušteni radni tlak u barima;
- nominalna izlazna snaga u kW.

#### 1.1.2. Zahtjevi konstrukcije

Oblik i dimenzija komponenti i opreme te način projektiranja, proizvodnje te ako se montiraju na mjestu puštanja u pogon način montaže i ugradnja, moraju osigurati da prilikom rada kako je specificirano u skladu s ispitnim postupcima ovog standarda i izloženo pratećim mehaničkim, kemijskim i toplinskim naprezanjima, uređaj mora raditi pouzdano i sigurno tako da prilikom normalnog rada dimni plinovi ne izađu u prostoriju u kojoj je ugrađen uređaj niti može žar ispasti. Potrebno je koristiti negorive materijale, osim kad je dopušteno koristiti zapaljive materijale za sljedeće primjere:

- a) komponente ili pribor ugrađen izvan aparata;
- b) komponente unutarnje kontrole i sigurnosna oprema;
- c) radne ručke;
- d) električna oprema.

Niti jedan dio aparate ne smije sadržavati bilo koji materijale koji je štetan.

Kada uređaj radi na kruta mineralna goriva, mora sadržavati donju rešetku i pepeljaru.

Sastavni dijelovi, koji zahtijevaju periodičnu zamjenu i/ili uklanjanje moraju biti ili tako projektirani ili označeni za identifikaciju kako bi se osigurala ispravna montaža.

Stijenke kotla moraju biti izrađene od lijevanog željeza i/ili čelika te moraju moći raditi pri najvišem radnom tlaku koje je deklariran od strane proizvođača. Detaljnije informacije dane su u dijelu „*Sastavni kotao*“ u normi EN 13240. Nominalna debljina stijenke kotlova izračenih čelika iz Tablice 2. Norme EN 13240 primjenjuje se na limove i cijevi. Manje debljine stijenke dopuštene su u proizvodnji samo uz dokaz koji pokazuje da imaju slične karakteristike. Detaljnije informacije su dane u dijelu „*Nominalna minimalna debljina stijenke (čelik)*“ Norme EN 13240. Debljina stijenke za lijevane dijelove ne smije biti manja od minimalne debljine zadane u Tablici 5. U Normi EN 13240.

Spojevi cijevi vode trebaju udovoljiti Normama ISO 7-1, ISO 7-2, ISO 228-1, ISO 228-2. Konstrukcija kotla treba osigurati slobodan protok vode kroz sve dijelove. Potrebno je konstrukcijski osigurati ozračivanje dijelova s vodom. Kotao mora biti tako konstruiran da pri normalnim uvjetima rada u skladu s uputama proizvođača, ne generira zvukove ključanja vode. Otvori, za vijke i slične komponente, koje se koriste za pričvršćivanje ili uklanjanje dijelova, ne smiju otvarati prema kanalima s vodom ili prostorima kroz koje prolazi voda.

Sve grijane površine moraju biti dostupne sa strane dimnih plinova radi inspekcije i čišćenja sa četkama, strugačima ili kemijskim sredstvima za potrebe dobrog čišćenja otvora. Tamo gdje je za čišćenje i servisiranje kotla i njegovih komponenata potrebno koristiti specijalne alate (specijalne četke), trebaju biti isporučene od strane proizvođača uređaja.

Za horizontalni dimni priključak, dimnih kanal/priključak mora biti dizajniran kako bi se omogućilo priključivanje, unutarne ili vanjsko, pri dužini od najmanje 40 mm, priključka dimovoda. Za vertikalne dimovode priključke, mora se preklapati najmanje 25 mm.

Mora biti omogućen način odstranjivanja pepele iz uređaja. Kada postoji pepeljara, treba biti u mogućnosti primiti ostatke izgaranja od dva izgaranja tako da ostane dovoljno prostora za nesmetan protok primarnog zraka. Ako pepeo ostaje u uređaju, mora biti tako smješten u da omogućava slobodan protok primarnog zraka. Pepeljara mora biti tako dizajnirana i konstruirana da osigurava:

- a) efikasno sakuplja ostatke izgaranje ispod rešetke;
- b) može se lagano i sigurno izvući, prenijeti i isprazniti kada je vruća, koristeći predviđen alat(e), bez nepotrebnog rasipanja pepela;



Kada je uređaj opremljen vratima za loženje, ta vrata moraju biti dovoljno velika da omogućuju da uređaj biti ložen s komercijalnim gorivima preporučenim od strane proizvođača. Vrata za loženje moraju biti tako konstruirana kako bi se spriječila slučajno otvaranje i omogućiti dobro zatvaranje. Kada su preporučene goriva su kruta mineralne goriva i treset briketi, aparati moraju imati rešetku i pepeljaru.

### **1.1.3. Sigurnosni zahtjevi**

Stjenka kotla i njegove komponente kroz koje protječe voda ne smiju propuštati ili postati trajno deformirane kada se podvrgnute ispitivanju pri tlaku koji najmanje dva puta veći od maksimalnog tlaka koji je propisao proizvođač i pri trajanju ispitivanja od minimalno 10 min.

Temperatura u ložištu ne smije prekoračiti granicu od 65 K iznad temperature okolnog prostora. Površinska temperatura svih upravljačkih uređaja i svih dijelova koji su dostupni na dodir ne smije preći temperaturu okolnog prostora za 35 K za metal, 45 K za porculan i slične materijale te 60 K za plastiku, gumu i drvo. Ako su te temperature postignute, proizvođač mora navesti u uputama potrebu korištenja operativnih alata. Pri normalnim radnim uvjetima i kada je uređaj ugrađen prema uputama proizvođača, temperatura objekata koji okružuju uređaj ne smije biti veće za 65 K od sobne temperature. Ako temperatura okolnih zidova i/ili poda prelazi temperaturu okoliša za više od 65 K, proizvođač mora priložiti potrebne informacije za izolaciju zidova i/ili poda ili ukazuju na potrebnu dodatnu udaljenost.

Za uređaje koji su opremljeni kotlom konstruiranim za rad u zatvorenom sustava i gdje kontrola toplinskog pražnjenja ugrađen dio u uređaju, kada je testiran pri normalnih uvjetima rada i da hladna voda korištena za akumulaciju topline mora imati temperaturu između 10 °C i 15 °C i tlak od  $(2 \pm 0,1)$  bar, kontrola će djelovati kada je temperatura protočne vode premašuje bilo 105 °C ili temperaturu deklariranu od proizvođača, ovisno o tome koja je niža.

Uređaj mora biti u skladu sa električnim sigurnosnim zahtjevima iz Norme EN 50165 ako je glavna regulacijska električna oprema ugrađena kao dio aparata.

### **1.1.4. Radni zahtjevi**

Kada je uređaj ispitan u skladu s postupkom opisanom u dijelu „*Test performansi pri nominalnom toplinskom učinku*“ u Normi EN 13240, mora se mjeriti temperatura dimnih plinova i izračunati srednju temperatura dimnih plinova te zabilježiti u uputama za instalaciju.

Kod ispitivanja uređaja u skladu s postupkom opisanom u dijelu „*Test performansi pri nominalnom toplinskom učinku*“ u Normi EN 13240, srednja koncentracija ugljičnog

monoksida u suhim dimnim plinovima mora biti manja od jedne od prikazanih vrijednosti u Tablici 8. u Normi EN 13240. Te su vrijednosti povezane sa 13% sadržajem kisika ( $O_2$ ) u dimnim plinovima.

Pri ispitivanja u skladu s postupkom opisanom u dijelu „*Test performansi pri nominalnom toplinskom učinku*“ u Normi EN 13240, srednja toplinska učinkovitost izračunata iz prosjeka minimalno dva rezultata ispitivanja pri nominalnom toplinskom učinku mora zadovoljavati granične vrijednosti odgovarajućeg razreda učinkovitosti danih u Tablici 9. u Normi EN 13420.

Vrijednosti podtlaka dimnjaka, povezane s nominalnim toplinskim učinkom dane u Dijagramu 1. u Normi EN 13240 uzimaju se kao vrijednosti statičkog tlaka koje će se primijeniti u području mjerenja pri provođenju testa nominalnog toplinskog učinka u skladu s postupkom opisanom u dijelu „*Test performansi pri nominalnom toplinskom učinku*“ u Normi EN 13240, test sporog izgaranja i izgaranja s manjom količinom goriva u skladu s postupkom opisanom u dijelu „*Test sporog izgaranja, izgaranja s manjom količinom goriva i oporavka*“ u Normi EN 13240, i sigurnosni test u skladu s postupkom opisanom u dijelu „*Sigurnosni test*“ u Normi EN 13240. Vrijednost podtlaka dimnjaka dane u Dijagramu 1. u Normi EN 13240 moraju biti postignute kako bi se postigao nominalni učinak deklariran od proizvođača, prema tome potreban podtlak dimnjaka mora biti jasno naveden u uputama za ugradnju uređaja. Detaljnije informacije u dijelu „*Podtlak dimnjaka*“ u Normi 13240.

Na kraju sporog izgaranja i izgaranja s manjom količinom goriva u skladu s postupkom opisanom u dijelu „*Test sporog izgaranja, izgaranja s manjom količinom goriva i oporavka*“, treba biti u mogućnosti na zadovoljavajući način oživjeti vatru. Oporavak će se smatrati zadovoljavajućim ukoliko će se dodano gorivo vidljivo zapaliti pod uvjetima ispitivanja opisano u dijelu „*Test perioda oporavka*“ u Normi EN 13240 unutar vremena od 20 min.

Kada su ispitani u skladu postupcima opisanim u dijelu „*Postupci testiranja*“ u Normi EN 13240, a kada uređaj radi s zatvorenim vratima, minimalni broj za održavanje izgaranja jednim dodavanjem ispitne količine goriva ne smije biti manja od vrijednosti danih u Tablici 8 u Normi 13240 prikladno za tip uređaja i/ili gorivo koje se koristi pri testu.

Toplinski učinak predan prostoru u kojem se nalazi uređaj, deklariran od strane proizvođača, ne smije postići vrijednost toplinskog učinka izmjerene u skladu s postupkom opisanom u dijelu „*Test performansi pri nominalnom toplinskom učinku*“ u Normi EN 13240.

Toplinski učinak predan vodi, deklariran od strane proizvođača, ne smije postići vrijednost toplinskog učinka izmjerenog u skladu s postupkom opisanom u dijelu „*Test performansi pri nominalnom toplinskom učinku*“ u Normi EN 13240.

#### **1.1.5. Upute uređaja**

Uputama napisanim na jeziku zemlje željenog odredišta mora biti priložene uređaju i moraju opisati ugradnju, rukovanje, održavanje i, ako se sastavlja na licu mjesta, sklapanje aparat. Upute ne smiju biti u suprotnosti sa zahtjevima ili rezultatima testiranja u skladu s ovaj standard. Detaljnije informacije nalaze se u dijelu „*Upute uređaja*“ u Normi EN 13240.

#### **1.1.6. Ispitivanje**

##### *1.1.6.1. Test performansi pri nominalnom toplinskom učinku*

Test performansi pri nominalnom toplinskom učinku treba se sastojati od dva dijela:

- paljenje i period(i) pred-test(ovi),
- period testa

Trajanje pred-test perioda mora biti dovoljno da osigura normalne radne uvjete.

Promatrajte statički tlak kroz cijeli test i ako je potrebno prilagodite primijenjeni podtlak dimnjaka tako da je statički tlak postavljen na odgovarajući normalnu vrijednost dimnog podtlaka od  $\pm 2$  Pa što je navedeno u dijelu „*Podtlak dimnjaka*“ u Normi EN 13240. Period testa mora prethoditi period ili periodi pred-testa dovoljni da bi se osigurala dovoljna masa osnovnog žara i masa pepela nastala iz spaljenog goriva na kraju perioda ispitivanja ne smije razlikovati u vrijednosti od one nastale na kraj prethodnog razdoblja za više od 50 g. Zahtjevi perioda testa su dani u tablici A.2. u dijelu „*Test performansi pri nominalnom toplinskom učinku*“ u Normi EN 13240.

##### *1.1.6.2. Test sporog izgaranja, izgaranja s manjom količinom goriva i oporavka*

Test sporog izgaranja i izgaranja s manjom količinom goriva može krenuti iz hladnog starta ili može slijediti test nominalnog toplinskog učinka, pod uvjetom odstranjiva pepela u skladu s postupkom opisanom u dijelu „*Dodavanje goriva i odstranjivanje pepela*“ u Normi EN 13240. Detaljnije informacije dane su u dijelu „*Test sporog izgaranja, izgaranja s manjom količinom goriva i oporavka*“ u Normi EN 13240.

##### *1.1.6.3. Sigurnosni test*

U dijelu „*Sigurnosni test*“ su opisani:

- operacije kod otvorenih ložišta za tip 2a) iz Tablice 1 u Normi EN 13240
- sigurnosni test temperatura
- sigurnosni test prirodnog podtlaka
- test za kotlove prema vrsti tlaka
- test za rad kontrole toplinskog pražnjenja

Detaljnije informacije nalaze se u gore navedenom dijelu u Normi EN 13240

#### *1.1.6.4. Rezultati ispitivanja*

Za svako gorivo korišteno pri testu, zabilježiti rezultate analize parametara navedenih u Dodatku B u Normi EN 13240.

Izračunajte i zabilježite rezultate iz najmanje dva testa u skladu s postupkom opisanim u dijelu „Metode proračuna“ u Normi EN 13240, sljedeće parametre pri nominalnom toplinskom učinku

- srednja ukupna učinkovitost;
- srednja nazivna toplinska snaga;
- srednja nominalna toplina predana vodi (ako je postavljen kotao);
- srednja nominalna toplina predana okolnom prostoru;
- srednja emisija CO pri 13% O<sub>2</sub>.

Detaljnije informacije su dane u dijelu „Rezultati ispitivanja“ u Normi EN 13240.

## 2. TOPLINSKI PRORAČUN

### 2.1. Proračun izgaranja

#### 2.1.1. Zadani parametri

- nazivna toplinska snaga kotla 12 kW
- gorivo drvo u cjepanicama dužine do 330 mm
- sadržaj vlage u gorivu 25%
- radna temperatura 90 °C
- radni tlak 2 bar

#### 2.1.2. Toplinska vrijednost i sastav goriva prema

- sastav goriva [1]
  - $c = 0,375 \text{ kg/kg}$  maseni udio ugljika u sastavu drva (1)
  - $h = 0,045 \text{ kg/kg}$  maseni udio vodika u sastavu drva (2)
  - $o = 0,32 \text{ kg/kg}$  maseni udio kisika u sastavu drva (3)
  - $w = 0,25 \text{ kg/kg}$  maseni udio vlage u sastavu drva (4)
  - $a = 0,01 \text{ kg/kg}$  maseni udio pepela u sastavu drva (5)
- donja ogrjevnost drva
  - $\Delta h_d = 13\,270 \text{ kJ/kg}$  (6)
- nasipna gustoća goriva u cjepanicama
  - $\rho_{\text{nas}} = 474 \text{ kg/m}^3$  (7)

- toplinska vrijednost goriva izračunata prema sastavu goriva

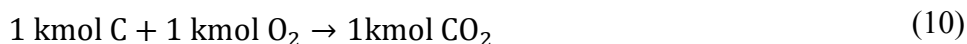
$$\begin{aligned}
 \Delta h_d &= 33900c + 117000 \left( h - \frac{o}{8} \right) - 2500w \\
 &= 33900 \cdot 0,375 + 117000 \left( 0,045 - \frac{0,32}{8} \right) - 2500 \cdot 0,25 \\
 &= 12\,673 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

#### 2.1.3. Toplinska vrijednost i sastav goriva prema

- stehiometrijska jednadžba izgaranja ugljika



- molna bilanca izgaranja ugljika



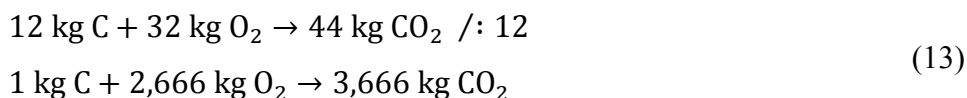
- molna masa ugljika

$$M_C = 12 \text{ kg/kmol} \quad (11)$$

- molna masa kisika

$$M_{O_2} = 32 \text{ kg/kmol} \quad (12)$$

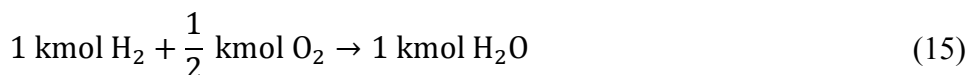
- uvrštavanjem molnih masa ugljika i kisika u stehiometrijske jednadžbe dobiva se masena bilanca izgaranja ugljika



- stehiometrijska jednadžba izgaranja vodika



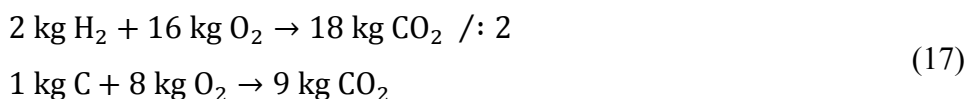
- molna bilanca izgaranja vodika



- molna masa vodika

$$M_{H_2} = 2 \text{ kg/kmol} \quad (16)$$

- uvrštavanjem molnih masa vodika i kisika u stehiometrijske jednadžbe dobiva se masena bilanca izgaranja vodika



#### 2.1.4. Teoretska količina kisika i zraka potrebna za izgaranje

- minimalna količina kisika potrebnog za izgaranje izgorivih sudionika

$$\begin{aligned} o_{\min} &= 2,666c + 8h - o = 2,666 \cdot 0,375 + 8 \cdot 0,045 - 0,32 \\ &= 1,04 \text{ kg/kg} \end{aligned} \quad (18)$$

- minimalna količina zraka potrebnog za izgaranje izgorivih sudionika

$$l_{\min} = \frac{o_{\min}}{0,232} = \frac{1,04}{0,232} = 4,48 \text{ kg/kg} \quad (19)$$

#### 2.1.5. Stvarna količina zraka potrebnog za izgaranje

- faktor pretička zraka

$$\lambda = 2 \quad (20)$$

- stvarna potrebna količina zraka

$$l_{\text{stv}} = \lambda l_{\text{min}} = 2 \cdot 4,48 = 8,96 \text{ kg/kg} \quad (21)$$

### 2.1.6. Količina i sastav dimnih plinova koji nastaju izgaranjem

- masa suhih dimnih plinova

$$\begin{aligned} m_{\text{sdp}} &= 3,666c + (\lambda - 1)o_{\text{min}} + 0,768l_{\text{stv}} \\ &= 3,666 \cdot 0,375 + (2 - 1) \cdot 1,04 + 0,768 \cdot 8,96 \\ &= 9,3 \text{ kg/kg} \end{aligned} \quad (22)$$

- masa vlage u dimnim plinovima

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 9h + w = 9 \cdot 0,045 + 0,25 = 0,655 \text{ kg/kg} \quad (23)$$

- masa vlažnih dimnih plinova

$$m_{\text{dp}} = m_{\text{sdp}} + m_{\text{H}_2\text{O}} = 9,3 + 0,655 = 9,955 \text{ kg/kg} \quad (24)$$

- masa  $\text{CO}_2$  koja nastaje izgaranjem

$$m_{\text{CO}_2} = 3,666c = 3,666 \cdot 0,375 = 1,375 \text{ kg/kg} \quad (25)$$

- maseni udio  $\text{CO}_2$  u dimnim plinovima

$$z_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m_{\text{dp}}} = \frac{1,375}{9,955} = 0,138 \text{ kg/kg} \quad (26)$$

- molna masa ugljičnog dioksida

$$M_{\text{CO}_2} = 44,01 \text{ kg/kmol} \quad (27)$$

- molni udio  $\text{CO}_2$  u dimnim plinovima

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} = \frac{1,375}{44,01} = 0,031 \text{ kmol/kg} \quad (28)$$

- maseni udio  $\text{H}_2\text{O}$  u dimnim plinovima

$$z_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{dp}}} = \frac{0,655}{9,955} = 0,066 \text{ kg/kg} \quad (29)$$

- molna masa vode

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ kg/kmol} \quad (30)$$

- molni udio  $\text{H}_2\text{O}$  u dimnim plinovima

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{0,655}{18} = 0,036 \text{ kmol/kg} \quad (31)$$

- masa kisika koja preostaje nakon izgaranja

$$m_{O_2} = 0,232(\lambda - 1)l_{\min} = 0,232 \cdot (2 - 1) \cdot 4,48$$

$$= 1,04 \text{ kg/kg} \quad (32)$$

- maseni udio kisika u dimnim plinovima

$$z_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{m_{dp}} = \frac{1,04}{9,955} = 0,105 \text{ kg/kg} \quad (33)$$

- molni udio kisika u dimnim plinovima

$$n_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{M_{O_2}} = \frac{1,04}{32} = 0,033 \text{ kmol/kg} \quad (34)$$

- masa dušika u dimnim plinovima

$$m_{N_2} = 0,768l_{stv} = 0,768 \cdot 8,96 = 6,88 \text{ kg/kg} \quad (35)$$

- maseni udio dušika u dimnim plinovima

$$z_{N_2} = \frac{m_{N_2}}{m_{dp}} = \frac{6,88}{9,955} = 0,691 \text{ kg/kg} \quad (36)$$

- molna masa dušika

$$M_{N_2} = 28,02 \text{ kg/kmol} \quad (37)$$

- molni udio dušika u dimnim plinovima

$$n_{N_2} = \frac{m_{N_2}}{M_{N_2}} = \frac{6,88}{28,02} = 0,245 \text{ kmol/kg} \quad (38)$$

- provjera masenih udjela

$$z_{CO_2} + z_{H_2O} + z_{O_2} + z_{N_2} = 0,138 + 0,066 + 0,105 + 0,691 = 1 \quad (39)$$

- molna količina suhih dimnih plinova

$$n_{dp} = n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{O_2} + n_{N_2}$$

$$= 0,031 + 0,036 + 0,033 + 0,245$$

$$= 0,345 \text{ kmol/kg} \quad (40)$$

- količinski udjeli pojedinih sudionika u dimnim plinovima

$$y_{CO_2} = \frac{n_{CO_2}}{n_{dp}} = \frac{0,031}{0,345} = 0,09 \text{ kmol/kmol} \quad (41)$$

$$y_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{dp}} = \frac{0,036}{0,345} = 0,104 \text{ kmol/kmol} \quad (42)$$

$$y_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{dp}} = \frac{0,033}{0,345} = 0,096 \text{ kmol/kmol} \quad (43)$$

$$y_{N_2} = \frac{n_{N_2}}{n_{dp}} = \frac{0,245}{0,345} = 0,71 \text{ kmol/kmol} \quad (44)$$



$$y_{\text{CO}_2} + y_{\text{H}_2\text{O}} + y_{\text{O}_2} + y_{\text{N}_2} = 0,09 + 0,104 + 0,096 + 0,71 = 1 \quad (45)$$

- volumen nastalih dimnih plinova pri 0°C

$$v_{\text{dp}} = v_{\text{CO}_2} + v_{\text{H}_2\text{O}} + v_{\text{O}_2} + v_{\text{N}_2} = \frac{z_{\text{CO}_2}}{\rho_{\text{CO}_2}} + \frac{z_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} + \frac{z_{\text{O}_2}}{\rho_{\text{O}_2}} + \frac{z_{\text{N}_2}}{\rho_{\text{N}_2}} \quad (46)$$

$$= \frac{0,138}{1,9768} + \frac{0,066}{0,804} + \frac{0,105}{1,42895} + \frac{0,691}{1,2505} = 0,778 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_{\text{dp}} = v_{\text{dp}} \cdot m_{\text{dp}} = 0,778 \cdot 9,955 = 7,745 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (47)$$

- protočni volumen dimnih plinova

$$q_{v_{\text{dp}}} = v_{\text{dp}} \cdot B \quad (48)$$

### 2.1.7. Sadržaj topline dimnih plinova

- Tablica 1. sadrži entalpije produkata izgaranja pri različitim temperaturama i entalpiju dimnih plinova pri različitim temperaturama
- entalpija dimnih plinova

$$h_{\text{dp}} = z_{\text{CO}_2} \cdot h_{\text{CO}_2} + z_{\text{H}_2\text{O}} \cdot h_{\text{H}_2\text{O}} + z_{\text{O}_2} \cdot h_{\text{O}_2} + z_{\text{N}_2} \cdot h_{\text{N}_2} \quad (49)$$

Tablica 1. Entalpija produkata izgaranja i entalpija dimnih plinova

$\vartheta$	$h_{\text{CO}_2}$	$h_{\text{H}_2\text{O}}$	$h_{\text{O}_2}$	$h_{\text{N}_2}$	$h_{\text{dp}}$
°C	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg
100	87,89	193,15	92,31	104,61	106,85
200	184,56	386,75	187,07	209,35	215,30
300	288,23	584,08	285	315,95	326,57
400	397,01	786,74	385,98	423,31	439,75
500	512,91	996,09	489,59	534,68	557,39
600	630,98	1211,29	595,52	646,47	676,26
700	752,82	1434,05	703,28	761,19	798,36
800	874,46	1665,17	812,55	874,85	920,42
900	1000,62	1903,57	923,2	998,18	1050,40
1000	1130,91	2145,42	1034,94	1119,60	1179,98
1500	1739,71	3442,13	1606,97	1742,21	1839,86
2000	2474,09	4848,55	2198,06	2384,49	2539,91

### 3. PARAMETRI LOŽIŠTA

#### 3.1. Ulazni podaci

- traženi stupanj djelovanja kotla da bi postigao 1. klasu

$$\eta_{K_{tr}} \geq 0,70 \quad (50)$$

- odabrani stupanj djelovanja

$$\eta_K \geq 0,80 \quad (51)$$

- potrebna masa goriva po jedinici vremena za nazivnu toplinsku snagu

$$B = \frac{Q}{\eta_K \cdot \Delta h_d} = \frac{12}{0,80 \cdot 12\,673} = 0,001184 \text{ kg/s} = 4,26 \text{ kg/h} \quad (52)$$

- vrijeme gorenja za ručno ložene kotlove kod nazivne toplinske snage za prirodno gorivo mora iznositi 0,75 h

$$\tau = 0,75 \text{ h} \quad (53)$$

- masa goriva potrebna za traženi period gorenja  $\tau$

$$B_\tau = B \cdot \tau = 4,26 \cdot 0,75 = 3,2 \text{ kg} \quad (54)$$

- volumen goriva za period gorenja

$$V_\tau = \frac{B_\tau}{\rho_{nas}} = \frac{3,2}{474} = 0,00675 \text{ m}^3 = 6,75 \text{ dm}^3 \quad (55)$$

#### 3.2. Volumen ložišta

- volumen ložišta treba biti dovoljan da uz žar od prethodnog punjenja može primiti volumen goriva koji je potreban za period gorenja  $\tau$

- dubina ložišta orijentacijski je određena duljinom cjepanice, a to je 330 mm, pa je odabrana dubina

$$a = 450 \text{ mm} \quad (56)$$

- odabrana širina ložišta je

$$b = 470 \text{ mm} \quad (57)$$

- visina volumena goriva

$$h_G = \frac{V_\tau}{a \cdot b} = \frac{0,00675}{0,45 \cdot 0,47} = 0,032 \text{ m} \quad (58)$$

- visina žara na rešetci preostalog od prethodnog punjenja

$$h_z = 50 \text{ mm} \quad (59)$$

- minimalno potrebna visina ložišta

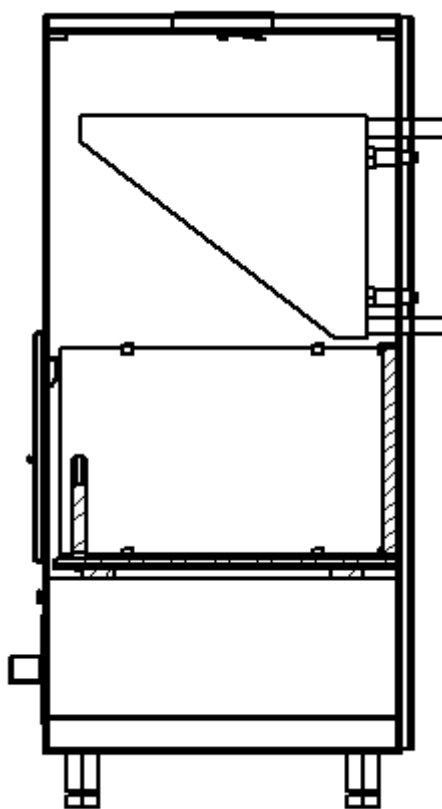
$$h_{\min} = h_G + h_z = 0,032 + 0,05 = 0,082 \text{ m} \quad (60)$$

- visina ložišta mora biti veća od prethodno izračunate visine volumena mase u ložištu, pa je određena visina ložišta

$$h = 325 \text{ mm} \quad (61)$$

- volumen ložišta

$$V = a \cdot b \cdot h = 0,45 \cdot 0,47 \cdot 0,325 = 0,069 \text{ m}^3 = 69 \text{ dm}^3 \quad (62)$$



Slika 1. Unutarnji pogled kamina

### 3.3. Teoretska temperatura izgaranja

- kada bi se izgaranje odvijalo u teoretskom ložištu, tj. bez dovodenja topline, u ložištu bi vladala i adijabatska temperatura izgaranja
- u konkretnom slučaju izgaranje se odvija u neadijabatskom ložištu, odvođenjem topline kojom se zagrijava voda i ostalih gubitaka. Zbog toga će stvarna

temperatura dimnih plinova na izlazu iz ložišta biti niža od teoretske temperature izgaranja.

- teoretska temperatura izgaranja

$$\vartheta_{\text{ad}} = \frac{\eta_L \cdot \Delta h_d}{(1 - h_u) \cdot m_{\text{dp}} \cdot [c_{\text{dp}}]_0^{\vartheta_{\text{ad}}}} + \vartheta_{\text{ok}} \quad (63)$$

- budući da specifična toplina dimnih plinova  $[c_{\text{dp}}]_0^{\vartheta_{\text{ad}}}$  ovisi o traženoj teoretskoj temperaturi izgaranja  $\vartheta_{\text{ad}}$ , prvo treba pretpostaviti teoretsku temperaturu izgaranja i za nju odrediti entalpiju dimnih plinova, i tada prema jednadžbi (63) izračunati  $\vartheta_{\text{ad}}$ . Postupak se ponavlja sve dok se izračunata temperatura ne približi, s dovoljnom točnošću, pretpostavljenoj temperaturi
- toplinska vrijednost goriva izračunata prema jednadžbi (8)

$$\Delta h_d = 12\,673 \text{ kJ/kg}$$

- pretpostavljena teoretska temperatura izgaranja

$$\vartheta_{\text{ad}} = 1084 \text{ °C} \quad (64)$$

- entalpija dimnih plinova za pretpostavljenu teoretsku temperaturu izgaranja

$$\begin{aligned} [h_{\text{dp}}]_0^{\vartheta_{\text{ad}}} &= [h_{\text{dp}}]_0^{\vartheta_A} + \frac{[h_{\text{dp}}]_0^{\vartheta_B} - [h_{\text{dp}}]_0^{\vartheta_A}}{\vartheta_B - \vartheta_A} \cdot (\vartheta_{\text{ad}} - \vartheta_A) \\ &= [h_{\text{dp}}]_0^{1000} + \frac{[h_{\text{dp}}]_0^{1500} - [h_{\text{dp}}]_0^{1000}}{1500 - 1000} \cdot (1084 - 1000) \\ &= 1179,98 + \frac{1839,86 - 1179,98}{500} \cdot 84 \\ &= 1290,84 \text{ kJ/kg} \end{aligned} \quad (65)$$

- specifična toplina dimnih plinova za pretpostavljenu teoretsku temperaturu izgaranja

$$[c_{\text{dp}}]_0^{\vartheta_{\text{ad}}} = \frac{[h_{\text{dp}}]_0^{\vartheta_{\text{ad}}}}{\vartheta_{\text{ad}}} = \frac{1290,84}{1084} = 1,1908 \text{ kJ/(kg K)} \quad (66)$$

- stupanj djelovanja ložišta

$$\eta_L \cong 0,95 - 0,99 \quad (67)$$

$$\text{odabrano } \eta_L = 0,99$$

- gubici u neizgorenim gorivu

$$h_u \cong 0,5 - 0,005 \quad (68)$$

odabrano  $h_u = 0,005$

- teoretska temperatura izgaranja prema jednadžbi (63)

$$\begin{aligned}\vartheta_{ad} &= \frac{\eta_L \cdot \Delta h_d}{(1 - h_u) \cdot m_{dp} \cdot [c_{dp}]_0^{\vartheta_{ad}}} + \vartheta_{ok} \\ &= \frac{0,99 \cdot 12673}{(1 - 0,005) \cdot 9,955 \cdot 1,1908} + 20 \\ &= 1083,68 \text{ } ^\circ\text{C}\end{aligned}\quad (69)$$

- izračunata teoretska temperatura je približno jednaka pretpostavljenoj, daljnja iteracija nije potrebna

### 3.4. Temperatura dimnih plinova na izlazu iz kamina

- ukupna snaga kamina

$$Q = 12 \text{ kW} \quad (70)$$

- temperatura dimnih plinova na izlazu iz kamina

$$\begin{aligned}\vartheta_{dpi} &= \vartheta_{ad} - \frac{Q}{B \cdot m_{dp} \cdot [c_{dp}]_0^{\vartheta_{ad}}} \\ &= 1083,68 - \frac{12\,000}{0,001184 \cdot 9,955 \cdot 1190,8} \\ &= 228,71 \text{ } ^\circ\text{C}\end{aligned}\quad (71)$$

### 3.5. Stvarna temperatura izgaranja

- stvarna temperatura izgaranja u ložištu je niža od teoretska zbog odvođenja topline zračenja, koja se predaje stjenkama ložišta
- pretpostavljena stvarna temperatura izgaranja

$$\vartheta_{stv_p} = 659,25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (72)$$

- pretpostavljena temperatura unutarnjih stijenke ložišta

$$\vartheta_{st} = 600 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (73)$$

- pretpostavljen vidni faktor ložišta

$$\omega = 0,6 \quad (74)$$

- emisijski faktor goriva

$$\varepsilon_1 = 0,7 \quad (75)$$

- pretpostavljen vidni faktor ložišta

$$\varepsilon_2 = 0,8 \quad (76)$$

- ukupna površina ložišta i izmjenjivača na koju dozračuje toplina

$$A_{zr} = 0,95 \text{ m}^2 \quad (77)$$

- toplina koju odaju dimni plinovi

$$Q_{dp} = B \cdot m_{dp} \cdot [c_{dp}]_0^{\vartheta_{ad}} \cdot (T_{ad} - T_{stv}) \quad (78)$$

- toplina koja se zračenjem odaje na stijenke ložišta i izmjenjivača

$$Q_{zr} = \frac{A_{zr} \cdot C_C}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \omega \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} \cdot \left[ \left(\frac{T_{stv_p}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{st}}{100}\right)^4 \right] \quad (79)$$

- toplina koju odaju dimni plinovi jednaka je toplini koja se zračenjem odaje na stijenke ložišta i izmjenjivača, tj. vrijedi

$$\begin{aligned} Q_{dp} &\cong Q_{zr} \\ B \cdot m_{dp} \cdot [c_{dp}]_0^{\vartheta_{ad}} \cdot (T_{ad} - T_{stv_p}) &\cong \frac{A_{zr} \cdot C_C}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \omega \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} \cdot \left[ \left(\frac{T_{stv_p}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{st}}{100}\right)^4 \right] \end{aligned} \quad (80)$$

$$0,001184 \cdot 9,955 \cdot 1190,8 \cdot (1356,83 - 932,4)$$

$$\cong \frac{0,95 \cdot 5,67}{\frac{1}{0,7} + 0,6 \cdot \left(\frac{1}{0,8} - 1\right)} \cdot \left[ \left(\frac{932,4}{100}\right)^4 - \left(\frac{873,15}{100}\right)^4 \right]$$

$$5957,14 \text{ W} \cong 5956,58 \text{ W}$$

- iz jednadžbe (80) zaključujemo da je stvarna temperatura izgaranja

$$\vartheta_{stv} = 659,25 \text{ °C} \quad (81)$$

- toplina odana zračenjem

$$\begin{aligned} Q_{zr} &= \frac{A_{zr} \cdot C_C}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \omega \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} \cdot \left[ \left(\frac{T_{stv}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{st}}{100}\right)^4 \right] \\ &= \frac{0,95 \cdot 5,67}{\frac{1}{0,7} + 0,6 \cdot \left(\frac{1}{0,8} - 1\right)} \cdot \left[ \left(\frac{932,4}{100}\right)^4 - \left(\frac{873,15}{100}\right)^4 \right] \\ &= 5\,956,58 \text{ W} \end{aligned} \quad (82)$$

- specifični volumen dimnih plinova pri stvarnoj temperaturi izgaranja u ložištu

$$p_1 \cdot v_1 = R \cdot T_1 \quad (83)$$

$$p_2 \cdot v_2 = R \cdot T_2 \quad (84)$$

$$\frac{p_1 \cdot v_1}{p_2 \cdot v_2} = \frac{R \cdot T_1}{R \cdot T_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (85)$$

$$T_0 = 0 \text{ °C} = 273,15 \text{ K} \quad (86)$$

$$T_{\text{stv}} = 659,25 \text{ °C} = 932,4 \text{ K} \quad (87)$$

$$v_{T_{\text{stv}}} = v_0 \cdot \frac{T_{\text{stv}}}{T_0} = 0,778 \cdot \frac{932,4}{273,15} = 2,66 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (88)$$

- volumen dimnih plinova po kilogramu goriva

$$V_{T_{\text{stv}}} = v_{T_{\text{stv}}} \cdot m_{\text{dp}} = 2,66 \cdot 9,955 = 26,5 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (89)$$

- protočni volumen dimnih plinova

$$q_{\text{vdp}} = V_{T_{\text{stv}}} \cdot B = 26,5 \cdot 0,001184 = 0,03135 \text{ m}^3/\text{s} \quad (90)$$

### 3.6. Toplina odana u izmjenjivaču

- površina izmjenjivača

$$A_{\text{izm}} = 1,136 \text{ m}^2 \quad (91)$$

- koeficijent prijelaza topline kod izmjenjivača

$$\alpha_{\text{izm}} = 12,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) \quad (92)$$

- ulazna temperatura vode

$$\vartheta_{\text{wu}} = 70 \text{ °C} \quad (93)$$

- izlazna temperatura vode

$$\vartheta_{\text{wi}} = 90 \text{ °C} \quad (94)$$

- razlika stvarne temperature dimnih plinova i temperature dimnih plinova na izlazu iz kamina

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{\text{stv}} - \vartheta_{\text{dpiz}} = 659,25 - 228,71 = 430,54 \text{ °C} \quad (95)$$

- toplina koja se u izmjenjivaču preda konvekcijom

$$Q_k = \alpha_{\text{izm}} \cdot A_{\text{izm}} \cdot \Delta\vartheta = 12,5 \cdot 1,136 \cdot 430,54 = 6113,67 \text{ W} \quad (96)$$

### 3.7. Ukupna toplina koja se predaje izmjenjivaču

- udio površine izmjenjivača na koju dozračuje toplina u ukupnoj površini na koju dozračuje toplina

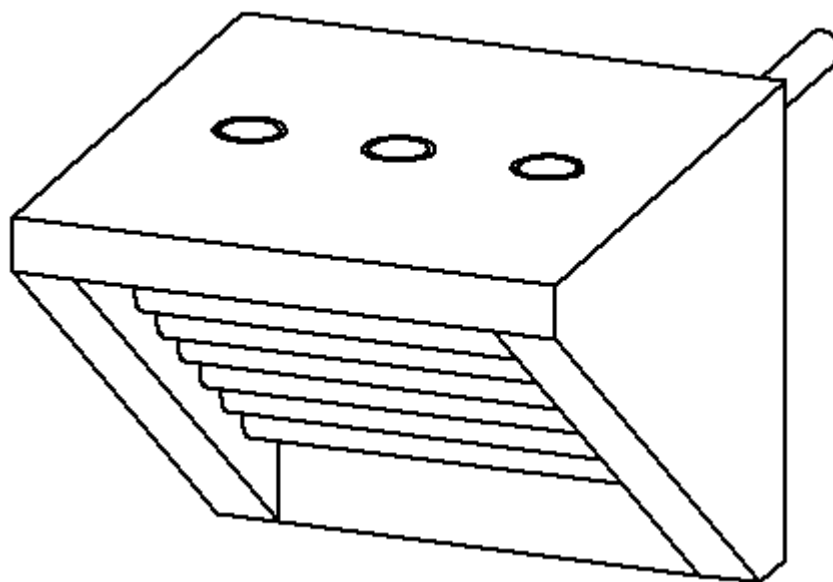
$$a_{iz} = \frac{A_{izm_{zr}}}{A_{zr}} = \frac{0,22}{0,95} = 0,23158 \quad (97)$$

- toplina koja dozračuje na izmjenjivač

$$Q_{izm_{zr}} = a_{iz} \cdot Q_{zr} = 0,23158 \cdot 5956,58 = 1379,42 \text{ W} \quad (98)$$

- ukupna toplina koja je predana izmjenjivaču

$$Q_{izm} = Q_{izm_{zr}} + Q_k = 1379,42 + 6113,67 = 7493,1 \text{ W} \quad (99)$$



Slika 2. Izmjenjivač

### 3.8. Toplina koja se predaje s vanjske stijenke kamina

- srednja temperatura vanjske stijenke kamina

$$\vartheta_{vs} = 300 \text{ °C} \quad (100)$$

- temperatura vanjskog zraka

$$\vartheta_{uz} = 20 \text{ °C} \quad (101)$$

- temperatura unutarnjih zidova

$$\vartheta_{zid} = 18 \text{ °C} \quad (102)$$

- emisijski faktori kamina i zida



$$\varepsilon_{\text{kamin}} = 0,67 \quad (103)$$

$$\varepsilon_{\text{zid}} = 0,88 \quad (104)$$

- vanjska ukupna površina kamina

$$A_v = 1,82 \text{ m}^2 \quad (105)$$

- sveukupni koeficijent prijelaza topline konvekcijom i zračenjem s vanjske stijenke kamina

$$\alpha_{vs} = 9 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) \quad (106)$$

- toplota koja se predaje okolini

$$Q_{ok} = \alpha_{vs} \cdot A_v \cdot (\vartheta_{vs} - \vartheta_{uz}) = 9 \cdot 1,82 \cdot (300 - 20) = 4586,4 \text{ W} \quad (107)$$

### 3.9. Ukupna dobivena toplota

- ukupna toplota je jednaka zbroju topline koja se predaje izmjenjivači i topline koja se predaje okolnom zraku

$$Q_{uk} = Q_{izm} + Q_{uz} = 7493,1 + 4586,4 = 12079,5 \text{ W} \quad (108)$$

### 3.10. Proračun rešetke

- u volumen ložišta može se staviti određena količina goriva, da bi to gorivo moglo izgorjeti potrebno je osigurati dovoljno zraka. Zrak se u ložište dovodi kroz rešetku pa to dovodi u direktnu vezu veličinu rešetke i veličinu ložišta. Osim o veličini ložišta, veličina rešetke ovisi i o vrsti goriva. Kod loženja drvetom potrebno je manje zraka u odnosu na druga goriva, jer drvo sadrži dosta plinovitih sastojaka kao i kisik koji pridonosi izgaranju.
- u nedostatku literature o proračunavanju rešetke toplovodnih kotlova na kruta goriva, korišteni su podaci za proračun rešetke kaljevih peći
- preporučena veličina rešetke za loženje drvom iznosi 1/175 do 1/200 vanjske površine peći koja odaje toplinu u okolni prostor
- površina rešetke za lake i srednje teške peći određuje se prema sljedećoj jednadžbi

$$A_r = \frac{A_v}{100} = \frac{1,82}{100} = 0,0182 \text{ m}^2 = 182 \text{ cm}^2 \quad (109)$$

- odgovarajuća rešetka se odabire iz sljedeće tablice

Tablica 2. Pregled standardnih rešetki [6]

Širina [cm]	Dužina [cm]	Površina [cm <sup>2</sup> ]
100	150	150
136	190	258
154	210	323
172	210	361
190	250	475
190	290	551

- za ovaj kamin odabire se rešetka dimenzija:

$$a_r \times b_r = A_r \rightarrow 136 \times 190 \text{ cm} = 258 \text{ cm}^2 \quad (110)$$

- pri zagrijavanju rešetka se širi za 2,5% po dužini te iz tog razloga potrebno je da se sa svake strane rešetke ostavi 5 mm praznog prostora

### 3.11. Proračun pepeljare

- volumen pepeljare mora biti dovoljno velik da prihvati pepeo i osigura nesmetan prolaz zraka ispod rešetke za najmanje 12 sati gorenja
- dimenzije pepeljare

$$a_p \times b_p \times h_p = 0,375 \times 0,550 \times 0,148 \text{ m} \quad (111)$$

$$V_p = 0,030525 \text{ m}^3$$

- količina pepela koja nastane izgaranjem 1 kg goriva prema jednadžbi (5)

$$a = 0,01 \text{ kg/kg}$$

- gustoća pepela

$$\rho_{\text{pepel}} = 150 \text{ kg/m}^3 \quad (112)$$

- količina pepela koja nastane u jedinice vremena

$$a_t = a \cdot B = 0,01 \cdot 0,001184 \quad (113)$$

$$= 0,00001184 \text{ kg/s} = 0,043 \text{ kg/h}$$

- volumen pepela koji nastaje u jedinici vremena

$$q_{v\text{pepela}} = \frac{a_t}{\rho_{\text{pepel}}} = \frac{0,043}{150} = 0,0003 \text{ m}^3/\text{h} \quad (114)$$

- vrijeme trajanja loženja da nastali pepeo zauzima 3/4 volumena pepeljare

$$t_l = \frac{V_{\text{pepeljare}}}{q_{v\text{pepela}}} = \frac{0,030525}{0,0003} = 101,75 \text{ h} \quad (115)$$

- volumen pepeljare je dovoljan da primi pepeo nastao loženjem do oko 4 dana

#### **4. ZAKLJUČAK**

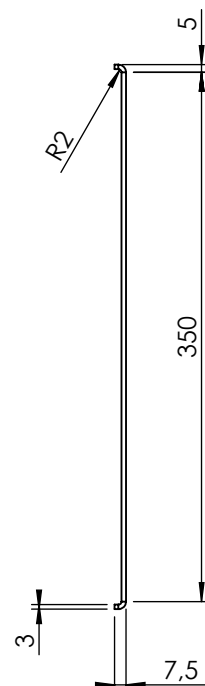
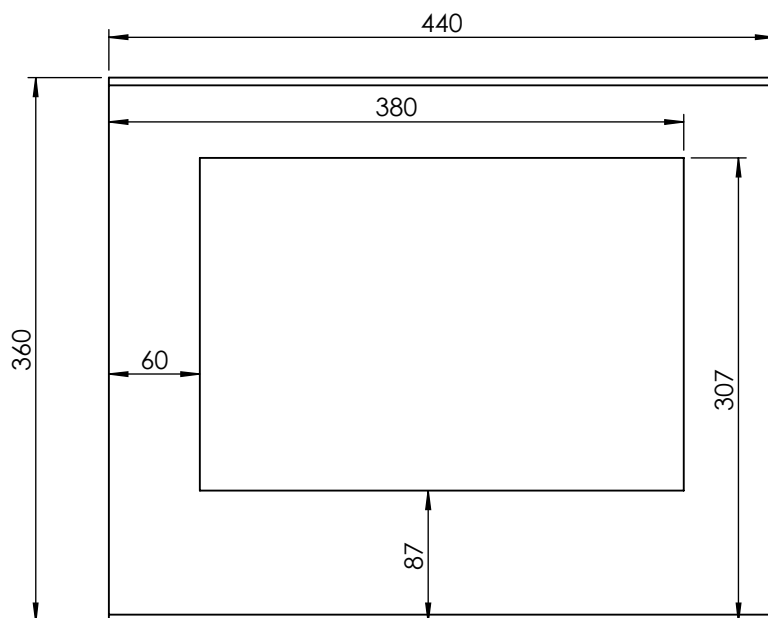
Radom je obuhvaćena konstrukcija kamina za zagrijavanje prostora i pripremu tople vode za centralno grijanje. Kao podloga poslužila je Norma HRN EN 13240 u kojoj su dani bitni zahtjevi za proizvod. Napravljen je termodinamički proračun kamina te je na osnovu proračuna i zahtjeva norme napravljena konstrukcija koja je prikazana crtežima priloženim radu. Termodinamički proračun obuhvatio je: proračun izgaranja, proračun izmjene topline zračenjem i proračun izmjene topline konvekcijom. Materijali gradnje uzeti su prema zahtjevima norme. Prilikom izrade rade korišteni su uobičajeni izrazi za izmjenu topline kao i empirijski podaci iz literature. Ovim radom sam upoznat s poteškoćama pri proračunu i konstruiranja ovakvih kamina te sam dobio malo iskustva oko proračuna i konstruiranja. Zahvaljujući ovom radu sam saznao da nije lagano biti konstruktor.

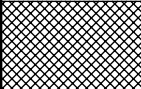
## **PRILOZI**

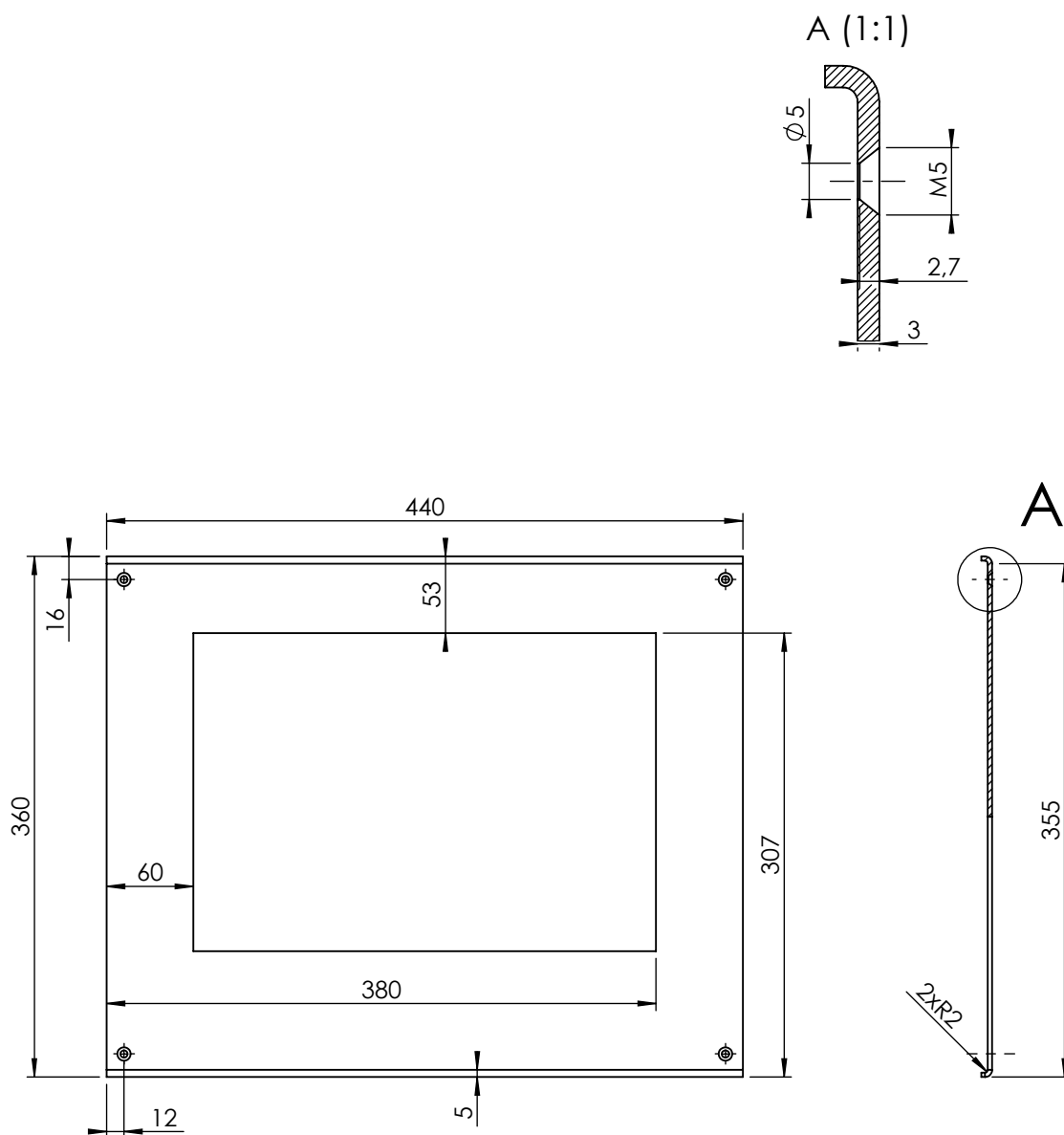
- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija

## LITERATURA

- [1] Skupina autora: Osnove primjene biomase, Energetika Marketing, Zagreb, 2012.
- [2] Skupina autora: Priručnik o gorivima iz drvne biomase, Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske, Zagreb, 2008.
- [3] Galović, A.: Termodinamika II, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2007.
- [4] Halas, B.; Galović, A.; Boras, I.: Toplinske tablice, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2007.
- [5] Kreuh, L.: Generatori pare (Parni kotlovi), Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [6] Henoeh, P.: Berechnung von Kachelöfen und Herden, VEB Carl Marhold Verlagsbuchhandlung, Halle (Saale), 1953.
- [7] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Sajema d.o.o., Zagreb, 2009.
- [8] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 1975.
- [9] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.

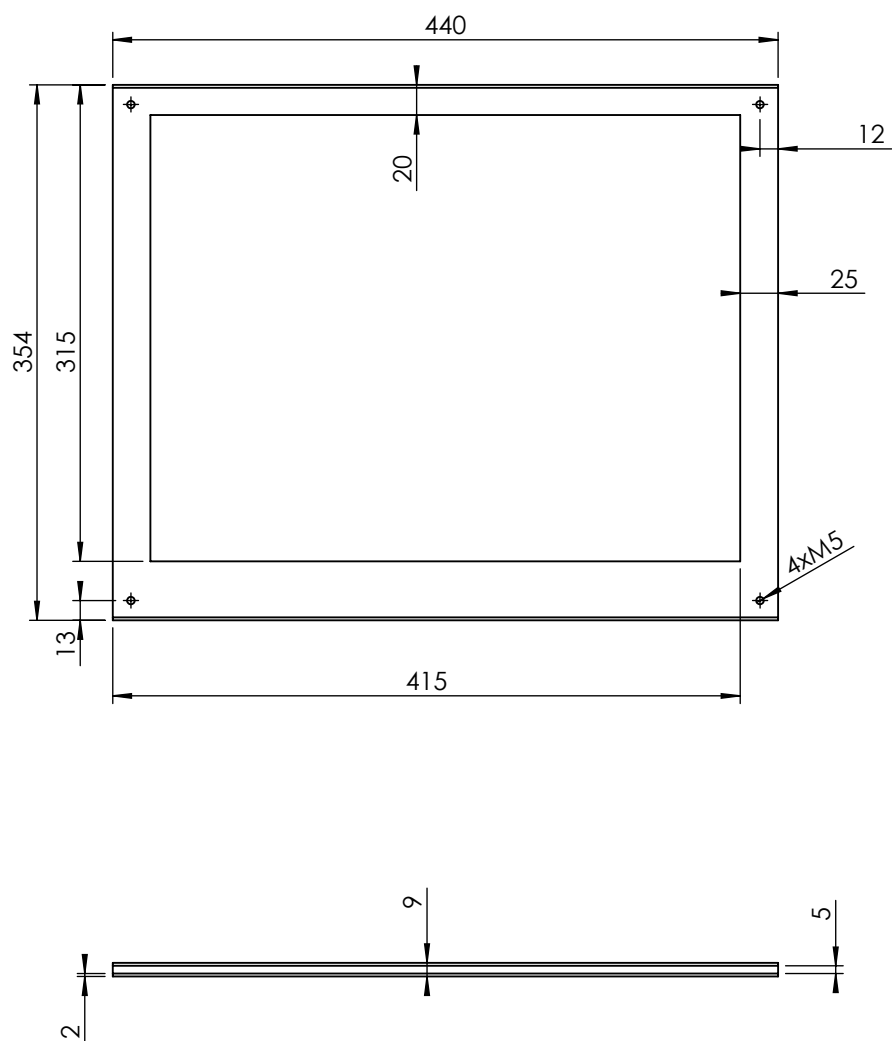


	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	13.9.2012.	Alen Horina		
Razradio	13.9.2012.	Alen Horina		
Crtao	13.9.2012.	Alen Horina		
Pregledao	13.9.2012.	Srećko Švaić		
Objekt:	Kamin na drva za zagrijavanje prostora i pripremu vode za centralno grijanje		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:	Prije početka izrade prekontrolirati mjere i mogućnost izrade na strojnom parku.		Procesno-energetski smjer	Kopija
Materijal:	P235GH	Masa: 2,1 kg	ZAVRŠNI RAD	
 Mjerilo originala 1:5	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
	PREDNJA PLOČA VRATA			Listova: 7
	Crtež broj: 100-01			List: 1

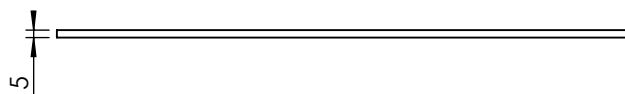
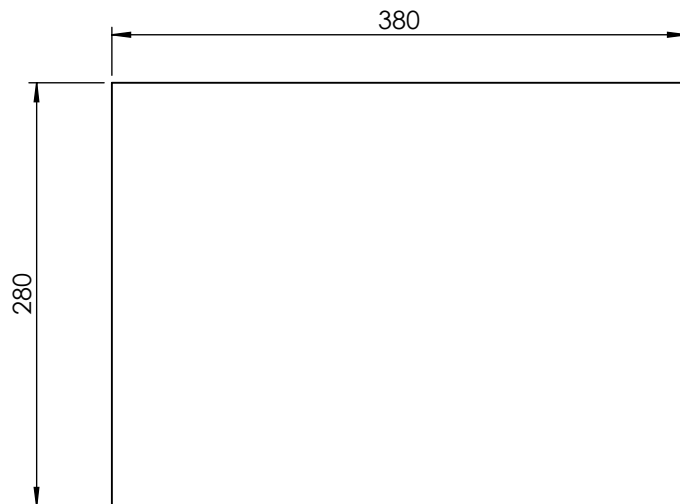


	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	13.9.2012.	Alen Horina		
Razradio	13.9.2012.	Alen Horina		
Crtao	13.9.2012.	Alen Horina		
Pregledao	13.9.2012.	Srećko Švaić		
Objekt:	Kamin na drva za zagrijavanje prostora i pripremu vode za centralno grijanje		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:	Prije početka izrade prekontrolirati mjere i mogućnost izrade na strojnom parku.		Procesno-energetski smjer	Kopija
Materijal:	P235GH	Masa:	2 kg	
			ZAVRŠNI RAD	
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
Mjerilo originala	STRAŽNJA PLOČA VRATA			Listova: 7
1:5	Crtež broj: 100-02			List: 2

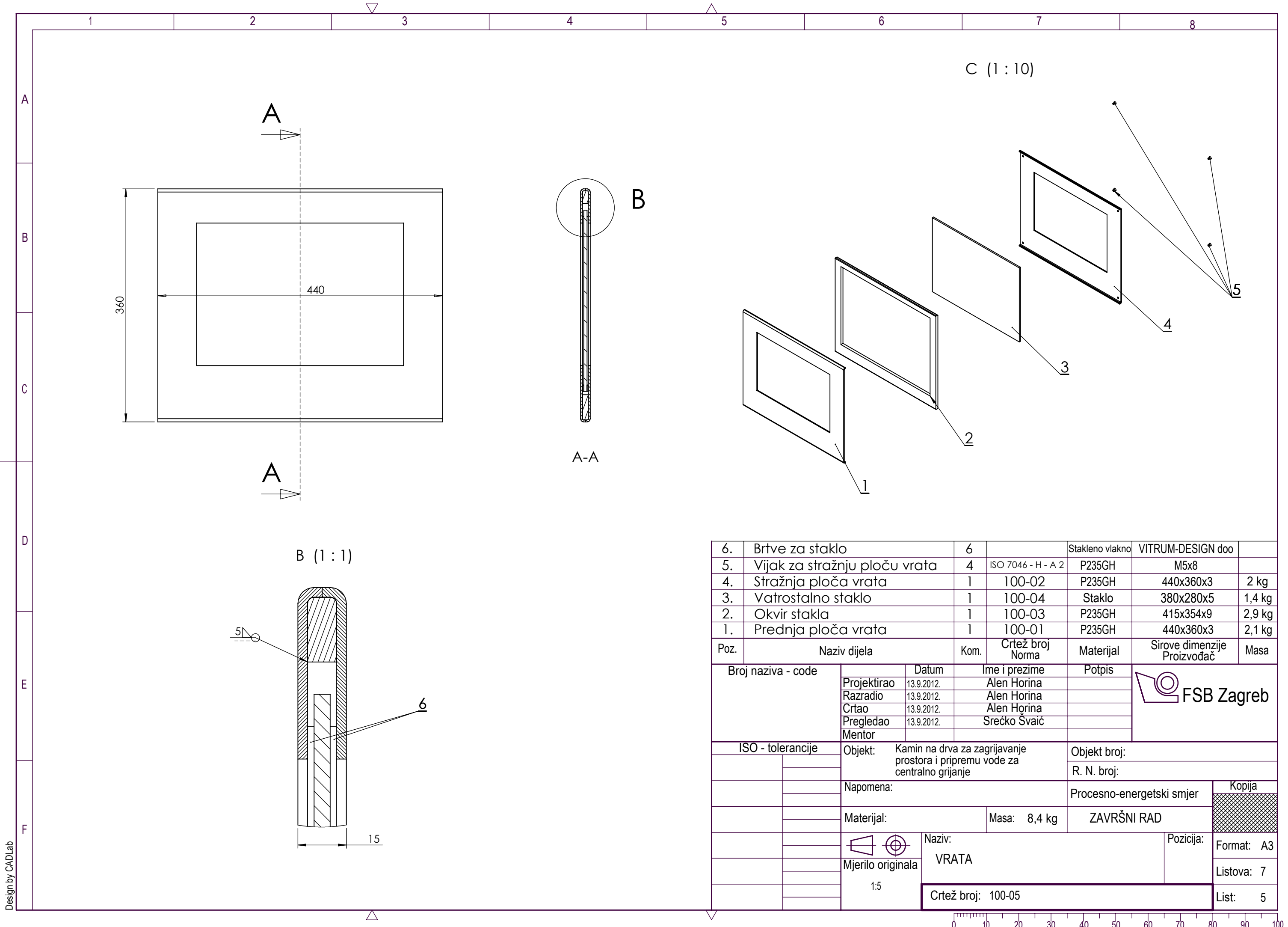


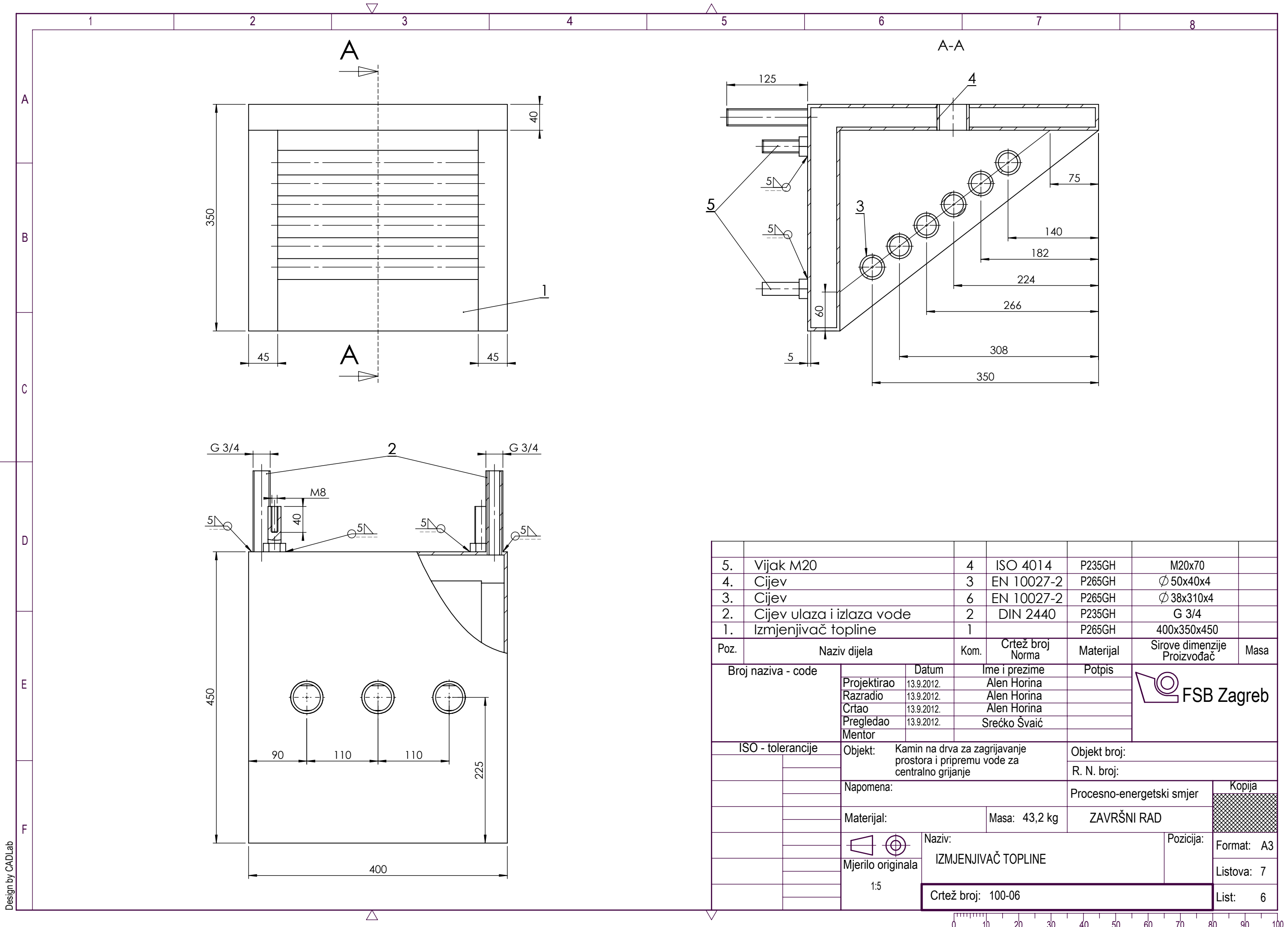


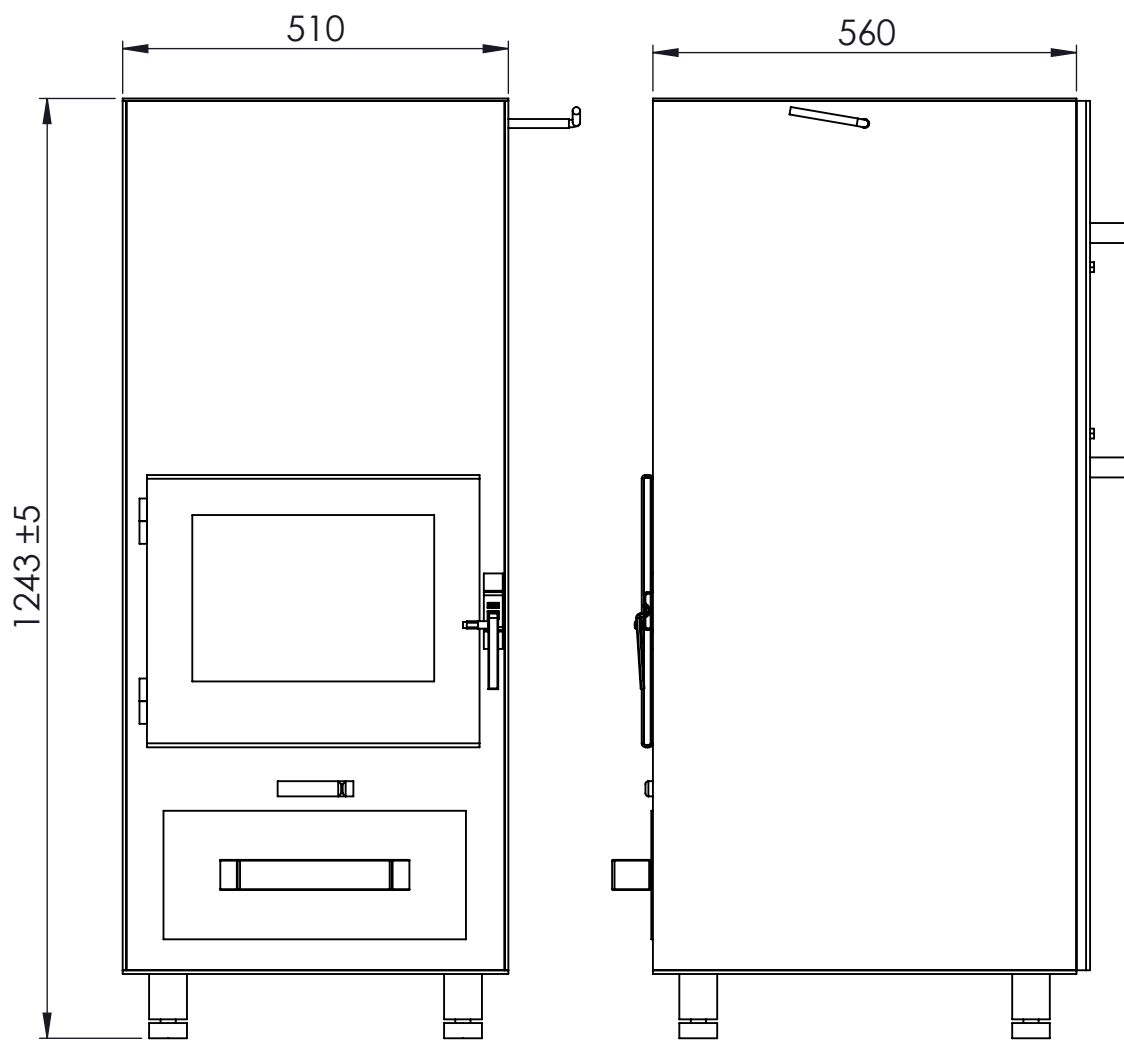
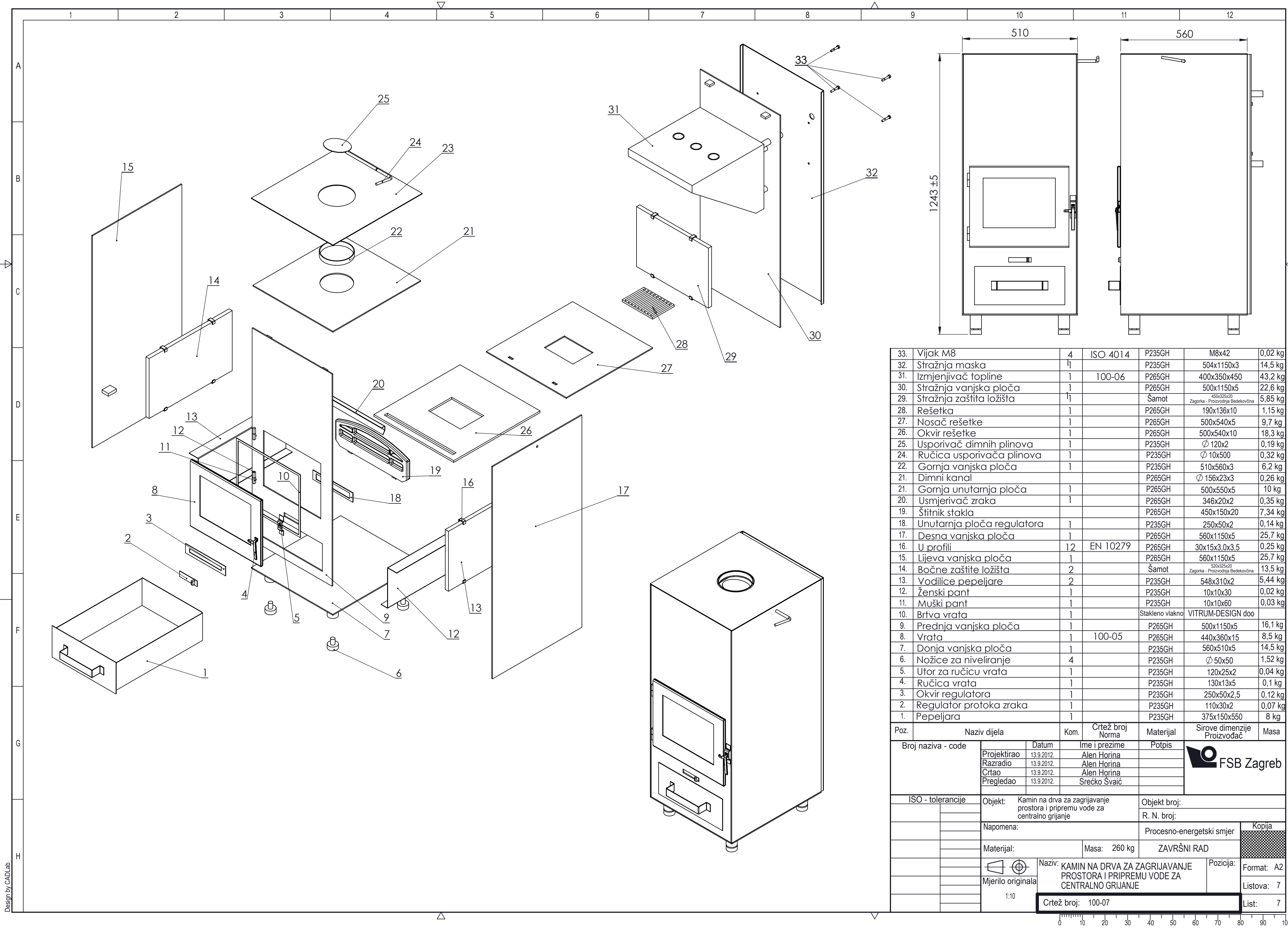
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	13.9.2012.	Alen Horina		
Razradio	13.9.2012.	Alen Horina		
Crtao	13.9.2012.	Alen Horina		
Pregledao	13.9.2012.	Srećko Švaič		
Objekt:	Kamin na drva za zagrijavanje prostora i pripremu vode za centralno grijanje		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:	Prije početka izrade prekontrolirati mjere i mogućnost izrade na strojnom parku.		Procesno-energetski smjer	Kopija
				
Materijal:	P235GH	Masa: 2,9 kg	ZAVRŠNI RAD	
 Mjerilo originala 1:5	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
	OKVIR STAKLA			Listova: 7
	Crtež broj: 100-03			List: 3





	Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>	
Projektirao	13.9.2012.	Alen Horina			
Razradio	13.9.2012.	Alen Horina			
Crtao	13.9.2012.	Alen Horina			
Pregledao	13.9.2012.	Srećko Švačić			
Objekt:		Kamin na drva za zagrijavanje prostora i pripremu vode za centralno grijanje		Objekt broj:	
				R. N. broj:	
Napomena:			Procesno-energetski smjer	Kopija	
Materijal: Vatrostalno staklo		Masa: 1,4 kg	ZAVRŠNI RAD		
 Naziv: STAKLO			Pozicija:		Format: A4
Mjerilo originala 1:5					Listova: 7
Crtež broj: 100-04				List: 4	







33.	Vijak M8	4	ISO 4014	P235GH	M8x42	0,02 kg
32.	Stražnja maska	1		P235GH	504x1150x3	14,5 kg
31.	Izmjenjivač topline	1	100-06	P265GH	400x350x450	43,2 kg
30.	Stražnja vanjska ploča	1		P265GH	500x1150x5	22,6 kg
29.	Stražnja zaštita ložišta	1		Šamot	450x325x20 Zagorka - Proizvođača Bedekovića	5,85 kg
28.	Rešetka	1		P265GH	190x136x10	1,15 kg
27.	Nosač rešetke	1		P265GH	500x540x5	9,7 kg
26.	Okvir rešetke	1		P265GH	500x540x10	18,3 kg
25.	Usporivač dimnih plinova	1		P235GH	Ø 120x2	0,19 kg
24.	Ručica usporivača plinova	1		P235GH	Ø 10x500	0,32 kg
22.	Gornja vanjska ploča	1		P235GH	510x560x3	6,2 kg
21.	Dimni kanal	1		P265GH	Ø 156x23x3	0,26 kg
21.	Gornja unutarnja ploča	1		P265GH	500x550x5	10 kg
20.	Usmjerivač zraka	1		P265GH	346x20x2	0,35 kg
19.	Štitnik stakla	1		P265GH	450x150x20	7,34 kg
18.	Unutarnja ploča regulatora	1		P235GH	250x50x2	0,14 kg
17.	Desna vanjska ploča	1		P265GH	560x1150x5	25,7 kg
16.	U profili	12	EN 10279	P265GH	30x15x3,0x3,5	0,25 kg
15.	Lijeva vanjska ploča	1		P265GH	560x1150x5	25,7 kg
14.	Bočne zaštite ložišta	2		Šamot	520x325x20 Zagorka - Proizvođača Bedekovića	13,5 kg
13.	Vodilice pepeljare	2		P235GH	548x310x2	5,44 kg
12.	Ženski pant	1		P235GH	10x10x30	0,02 kg
11.	Muški pant	1		P235GH	10x10x60	0,03 kg
10.	Brtva vrata	1		Stakleno vlakno	VITRUM-DESIGN d.o.o.	
9.	Prednja vanjska ploča	1		P265GH	500x1150x5	16,1 kg
8.	Vrata	1	100-05	P265GH	440x360x15	8,5 kg
7.	Donja vanjska ploča	1		P235GH	560x510x5	14,5 kg
6.	Nožice za niveliranje	4		P235GH	Ø 50x50	1,52 kg
5.	Utor za ručicu vrata	1		P235GH	120x25x2	0,04 kg
4.	Ručica vrata	1		P235GH	130x13x5	0,1 kg
3.	Okvir regulatora	1		P235GH	250x50x2,5	0,12 kg
2.	Regulator protoka zraka	1		P235GH	110x30x2	0,07 kg
1.	Pepeljara	1		P235GH	375x150x550	8 kg

Poz.	Naziv dijela		Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	Alen Horina				
		Razradio	Alen Horina				
		Crtao	Alen Horina				
		Pregledao	Srećko Švaić				
ISO - tolerancije		Objekt:	Kamin na drva za zagrijavanje prostora i pripremu vode za centralno grijanje			Objekt broj:	
					R. N. broj:		
		Napomena:				Procesno-energetski smjer	Kopija
		Materijal:		Masa: 260 kg	ZAVRŠNI RAD		
				Naziv: KAMIN NA DRVA ZA ZAGRIJAVANJE PROSTORA I PRIPREMU VODE ZA CENTRALNO GRIJANJE		Pozicija:	Format: A2
		Mjerilo originala		1:10			Listova: 7
				Crtež broj: 100-07			List: 7